

ALOKACE SANITNÍCH VOZŮ DO STŘEDISEK ZDRAVOTNICKÉ ZÁCHRANNÉ SLUŽBY

Miroslav Slivoně¹

1. ÚVOD

Optimální rozmístění stanic zdravotnické záchranné služby (dále ZZS) patří mezi nejčastěji uváděné aplikace lokačních úloh. Z pohledu teorie grafů se jedná o hledání tzv. váženého n -centra grafu. Pro tuto úlohu není znám žádný polynomiální algoritmus řešení, ale byla publikována řada heuristických algoritmů, od jednoduchých postupů až po genetické algoritmy či heuristiky tabu search.

Tento text se však dále zabývá odlišnou úlohou, která však na již zmíněný lokační problém může navazovat. Jedná se o alokaci sanitních vozů do jednotlivých (již existujících nebo plánovaných) středisek ZZS na základě metody, která je navržena v [1].

Hlavním ukazatelem kvality systému ZZS je čas, za který je schopen lékař dorazit k pacientovi. Tento čas je z největší části tvořen dobou jízdy ze stanice ZZS na místo potřeby, jeho nezanedbatelnou složkou je však i prodleva před vlastním výjezdem, tj. doba, která uplyne od chvíle, kdy se volající dovolá k dispečerovi až po chvíli výjezdu sanitního vozu. Zahrnuje tedy dobu strávenou na telefonu při zjišťování adresy a závažnosti případu, čas strávený při rozhodování o konkrétní posádce, která k případu pojede, čas na její vyrozumění, na dosažení vozu apod.

Prvořadým aspektem při návrhu optimálního systému poskytování ZZS je poskytnout kvalitní „pokrytí“ uvažované oblasti, které může být definováno jako schopnost dorazit k části α všech případů v čase δ minut nebo kratším (např. k 90% případů v čase pod 9 minut).

Pro dosažení co největší přesnosti modelu je vhodné obě veličiny tvořící čas potřebný k dosažení pacienta (tedy jízdní dobu a prodlevu před výjezdem) modelovat jako náhodné veličiny. Význam stochastického přístupu k modelování těchto veličin ilustruje následující numerický příklad:

V menší městské aglomeraci se nachází jediná stanice ZZS, požadovaný standard pro dosažení pacienta je 9 minut. Aglomerace je rozdělena na tři oblasti O1, O2 a O3, z každé oblasti pochází za uvažovanou časovou periodu 100 požadavků o pomoc. Jízdní doby mezi stanicí ZZS a jednotlivými oblastmi mají střední doby 5,5, 7,5 a 9,5 min, směrodatná odchylka je 40% jízdní doby. Prodleva před výjezdem je

¹ Ing. Miroslav Slivoně, Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra technologie a řízení v dopravě, Studentská 95, 53210 Pardubice, Tel.: +420 466 036 198, E-mail: miroslav.slivone@upce.cz

nezávislá na jízdni době a má střední hodnotu 2,5 min a směrodatnou odchylku 1 min. Empiricky zjištěné distribuční funkce délky jízdni doby, prodlevy před výjezdem a součtu obou časů autoři metody aproximovali distribuční funkcí logaritmicko - normálního rozdělení pravděpodobnosti s příslušnými parametry. V tabulce 1 jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými přístupy k modelování obou časů. Většina existujících modelů uvažuje deterministickou prodlevu před výjezdem (model 4), nejlépe však odráží realitu model 6.

Model	Jízdni doba	Prodleva před výjezdem	Pravděpodobnost dosažení pacienta v čase pod 9 min			Počet pacientů dosažených v čase pod 9 min
			O1	O2	O3	
1	D	N	1	1	0	200
2	S	N	0,929	0,747	0,521	219,7
3	D	D	1	0	0	100
4	S	D	0,734	0,429	0,214	137,8
5	D	S	0,857	0,129	0	98,5
6	S	S	0,708	0,426	0,229	136,3

D – deterministická, S – stochastická, N - neuvažována

Tabulka 1: Různé přístupy k modelování jízdni doby a prodlevy před výjezdem

2. FORMULACE MODELU

Vstupní data modelu:

- Množina S , jejímiž prvky je m stanic ZZS (indexovány i) a množina N , skládající se z n obsluhovaných uzlů (indexovány j).
- Četnost výjezdů λ_j pro každý obsluhovaný uzel j . $\lambda = \sum_{j \in N} \lambda_j$ je počet výjezdů

pro celou síť, $h_j = \frac{\lambda_j}{\lambda}$ je pak podíl z celkového počtu výjezdů pro jednotlivé uzly j . Četnost výjezdů λ_j je možné získat na základě vyhodnocení statistik pro danou oblast.

- Pro každý obsluhovaný uzel j je znám seznam m stanic podle toho, v jakém pořadí budou daný uzel obsluhovat (pokud nebude stanice na prvním místě v seznamu schopna výjezdu, bude kontaktována stanice další v pořadí atd.). Postup při sestavě tohoto pořadí je nastíněn v dalším textu.
- Distribuční funkce $H_{ij}(t)$ jízdni doby T_{ij} z i -té stanice do uzlu j (v pořadí prioritního seznamu stanic pro uzel j). Distribuční funkci je možné zjistit empiricky a aproximovat vhodnou distribuční funkcí, v tomto případě logaritmicko-normální.

- Distribuční funkce F_{ij} prodlevy před vlastním výjezdem. Taktéž dobře aproximovatelná logaritmicko-normální distribuční funkcí.
- Parametry δ a α specifikující nároky na kvalitu pokrytí – požadavek musí být uspokojen nejpozději do δ časových jednotek s pravděpodobností alespoň α .
- Pravděpodobnost ρ_i úplného vytížení stanice i (ve stanici i není k dispozici žádný volný sanitní vůz), a hodnoty Q_{ij} pro každý pár stanice – uzel umožňující vyjádřit vztah mezi vytížením jednotlivých stanic (hodnoty Q_{ij} rovny 1 odpovídají předpokladu, že pravděpodobnost úplného vytížení stanice je nezávislá na stavu ostatních stanic v systému). Hodnoty $\rho_i \in (0, 1)$ a $Q_{ij} > 0$. Určení hodnot ρ_i a Q_{ij} je problematické, autoři tohoto modelu použili k jejich odhadu speciální iterativní algoritmus, který je podrobně popsán v [1].

Určení pořadí stanic ZZS pro jednotlivé uzly

Požadavek vycházející z uzlu j je obslužen sanitním vozem z i -té stanice podle pořadí stanic pro uzel j . Pravděpodobnost w_{ij} toho, že požadavek bude obslužen za δ nebo méně časových jednotek se vypočítá jako $w_{ij} = \int_{x=0}^{\delta} H_{ij}(\delta - x) dF(x)$. Pořadí stanic

pro uzel j se potom určí jako posloupnost stanic seřazených podle klesající hodnoty pravděpodobnosti w_{ij} . Některé studie dokazují, že toto uspořádání nemusí být vždy optimální, ale je optimu dostatečně blízké.

Formulace problému

Nechť x_i je počet sanitních vozidel umístěných ve stanici i a necht' x_{ij} je počet vozidel umístěných v i -té stanici pořadí pro uzel j . Vektor $(x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})$ je permutace z (x_1, x_2, \dots, x_m) pro jednotlivé j . Podobně ρ_{ij} necht' je pravděpodobnost vytížení pro stanici na i -tém místě seznamu uzlu j . Úloha je formulována jako:

$$\max \quad s(x) \equiv \sum_{j \in N} h_j \cdot s_j(x), \quad (1)$$

$$\text{za podmínek} \quad z(x) \equiv \sum_{i \in S} x_i = b, \quad (2)$$

$$x_i \geq 0, x_i \in Z \quad \forall i \in S, \quad (3)$$

$$\text{kde} \quad s_j(x) = \sum_{i \in S} f_{ij}(x) w_{ij} \quad \forall j \in N, \quad (4)$$

$$f_{ij}(x) = Q_{ij} (1 - \rho_{ij}^{x_{ij}}) \quad \forall i \in S, j \in N \quad (5)$$

Účelová funkce (1) maximalizuje kvalitu předpokládaného „pokrytí“ $s(x)$ při zohlednění podmínky, že celkový počet vozidle je $z(x)$ rovné dané konstantě b . Hodnota h_j udává, jak již bylo uvedeno výše, podíl výjezdů připadajících na uzel j . Ukazatel pokrytí systému $s(x)$ je tak určena jako vážený součet pokrytí jednotlivých uzlů $s_j(x)$, které je vypočítáno podle vztahu (4). Ve výpočtu pokrytí uzlu j figuruje $f_{ij}(x)$, což je pravděpodobnost toho, že požadavek uzlu j bude obslužen vozidlem

ze stanice na i -tém místě v pořadí stanic pro tento uzel. Tato pravděpodobnost je vypočítána, jak je patrné ze vztahu (6) jako výsledná pravděpodobnost toho, že všechny vozidla ze stanic ($i-1$), které jsou na místech před stanicí na i -tém místě, jsou obsazena, alespoň jedno vozidlo ze stanice na i -tém místě v pořadí je volné, a hodnoty Q_{ij} vyjadřující vztah mezi vytížením jednotlivých stanic.

Lze dokázat, že pokud bylo pořadí stanic pro jednotlivé uzly určeno tak, jak je uvedeno výše a pokud hodnoty Q_{ij} a ρ_i jsou stanoveny nezávisle na x , pak je $s(x)$ konkávní funkcí x . Protože omezující podmínky jsou navíc lineárními funkcemi, lze problém řešit jako úlohu konvexního programování.

3. ZÁVĚR

Uvedený postup optimalizace může navazovat na poměrně často uváděné modely lokačních úloh na hledání center grafů. Metodu je možné modifikovat i pro ostatní typy havarijních středisek.

4. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Ingolfsson A., Budge B., Erkut E.: Optimal Ambulance Location with Random Delays and Travel Times, Edmonton, Alberta (revision 2 April 2005)

5. ANOTACE

V textu je prezentována metoda alokace konkrétního počtu vozidel ZZS do již známé sítě stanic za účelem co nejlepšího pokrytí uvažovaného systému. Uvedený model je stochastický (uvažuje náhodné jízdní doby i náhodné zpoždění před výjezdem), tudíž by měl dobře odpovídat skutečnosti.

6. ABSTRACT

There is presented an optimization model for allocating a specified number of ambulances to stations with known locations so as to maximize system-wide expected coverage. The introduced model is probabilistic (considering both random travel times and random pre-travel delays) and should be a good representation of reality.

*Příspěvek vznikl za podpory grantového projektu GA ČR číslo 103/05/2043
„Optimalizace sítí a síťových procesů“*